

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Скворцова Сергея Александровича

«Разработка и анализ механизмов параллельной структуры с круговой направляющей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.02.18 – Теория механизмов и машин

**Актуальность работы.** На современном этапе для безопасной эксплуатации различных транспортных средств, применяются обучающие тренажеры в которых используются механизмы типа «Гексопод», которые не обеспечивают круговое вращение вокруг вертикальной оси. Однако отсутствие этого перемещения не позволяет воспринимать водителю динамические нагрузки возникающие в реальных условиях движения.

В диссертационной работе Скворцова С.А. решены задачи исследования структурных схем механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и создание на их основе тренажеров с расширенными функциональными возможностями для автомобильной и авиационной техники. В связи с этим в работе решались задачи по созданию методов исследования указанных механизмов.

Задачи структурного синтеза и кинематического анализа пространственных механизмов параллельной структуры с круговой направляющей, безусловно являются актуальными.

**Научная новизна работы** заключается в разработке основ структурного синтеза механизмов параллельной структуры с круговой направляющей, а также в выявлении геометрических особенностей построения этих устройств при разном количестве и виде кинематических цепей; в разработке методики решения обратных задач о положениях механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и

различными кинематическими цепями, а также нахождении рабочих зон этих устройств с учетом конструктивных параметров; в разработке методики итерационного решения прямых задач о положениях механизмов параллельной структуры с круговой направляющей на основе дифференцирования уравнений связей и решения задачи о скоростях этих устройств; в проведении теоретического обоснования расположения кинематических цепей механизма, для исключения особых положений, и изготовлении натурального образца и определении его функциональных возможностей.

Разработанные автором кинематические схемы механизмов параллельной структуры с круговой направляющей защищены одним патентом РФ на изобретение и четырьмя патентами на полезную модель, что является несомненным показателем новизны представленных исследований и отражает личный вклад в них диссертанта.

### **Степень обоснованности и достоверности выводов и результатов**

Уровень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций подтверждается адекватностью применения апробированных методов системного анализа, аналитической геометрии, винтового исчисления, теории дифференциальных уравнений, строгостью математических выкладок, основанных на фундаментальных законах механики и теории механизмов.

Достоверность результатов работы и сделанных на их основе выводов и рекомендаций основана на использовании автором общепринятых допущений, корректным применением хорошо апробированного математического аппарата и совпадением результатов теоретических исследований с данными численных экспериментов.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке методики структурного синтеза и исследования кинематических свойств

механизмов параллельной структуры с круговой направляющей, предназначенных для тренажеров, подготовки водителей наземных, воздушных и космических транспортных средств. Это позволит моделировать процесс движения автомобиля или самолета в различных режимах.

ПФ «ЛОГОС» приняты результаты исследований к разработке перспективных моделей тренажеров.

**Первая глава** посвящена обзору современного состояния тренажеров в мировой практике и анализу известных механизмов параллельной структуры с различным числом степеней свободы и разным числом кинематических цепей. Рассматриваются механизмы параллельной структуры, которые находят применение в технологических, испытательных, измерительных, обучающих системах. Весьма важно то, что характеристики этих устройств позволяют имитировать различные режимы движения летательных аппаратов или наземных транспортных средств, что необходимо при создании тренажеров, предназначенных для обучения пилотов и водителей транспортных средств.

Автор рассматривает важнейшие результаты, полученные учеными разных стран мира, связанные со структурным и параметрическим синтезом, кинематическим и динамическим анализом, точностью и управлением. Это дало возможность заняться разработкой и исследованием механизмов с повышенными функциональными возможностями.

**Во второй** главе достаточно подробно рассмотрен подход к структурному синтезу и анализу механизмов параллельной структуры с четырьмя кинематическими цепями, кинематической развязкой и разным числом степеней свободы. Эти устройства могут использоваться в различных автоматизированных системах – измерительных, технологических, транспортных, обучения. Отличительной особенностью данных механизмов

является наличие круговой направляющей. Для определения количества степеней свободы, применялась формула Сомова–Мальшева. Рассматривалось несколько разработанных структурных схем пространственных механизмов параллельной структуры с круговой направляющей, которые позволяют расширить функциональные возможности вновь созданных тренажеров, используя метод винтового исчисления.

**В третьей** главе предложен метод кинематического анализа механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и различным количеством кинематических цепей. Решены обратные задачи о положениях, определены границы рабочих зон. Проведено сравнение полученных сечений рабочих зон для механизмов с шестью и четырьмя кинематическими цепями.

Решая задачи о положениях, определялись границы рабочей зоны, полученные в результате сканирования положения выходного звена по шести координатам, с учетом геометрических ограничений.

**Четвертая глава** посвящена решению задачи о скоростях и прямых задач о положениях для механизмов параллельной структуры с круговой направляющей. Для решения задачи о скоростях использовано решение обратной задачи о положениях. Рассмотрены два механизма, с шестью и четырьмя кинематическими цепями.

Были записаны уравнения связей в виде неявных функций, описывающих положения штанг. Применен метод Анжелеса-Госслена основанный на дифференцировании уравнений связей. Получены линейные соотношения для скоростей в матричной форме. Определив частные производные от неявных функций по абсолютным и обобщенным координатам для каждой кинематической цепи получено решение задачи о скоростях.

Для решения прямой задачи о положениях итерационным методом задавались приращения обобщенных координат и определялись приращения абсолютных координат.

**В пятой главе** обоснован выбор структурной схемы натурной модели механизма параллельной структуры с круговой направляющей и работоспособности, на основании винтового исчисления. Для каждой кинематической пары задавались единичные вектора, определялись плюккеровы координаты и на основании этого выявлялось отсутствие внутренней подвижности в каждой кинематической цепи, что влияет на работоспособность механизма. С другой стороны рассматривались силовые винты, которые передаются с кинематических цепей на выходное звено, необходимо было определить, что они не являются вырожденными (это свидетельство об особом положении). В результате этого было установлено, что синтезированные схемы механизмов являются работоспособными.

**В заключении** представлены основные научные результаты и выводы, полученные автором в ходе диссертационного исследования.

**В приложении** отражены подтверждения о внедрении результатов работы в ПФ «ЛОГОС» для использования в системе научно-исследовательских работ, связанных с разработкой и проектированием механизмов для перспективных моделей тренажеров.

Содержание диссертации свидетельствует об эрудиции автора в области системного подхода, применения методов аналитической, вычислительной геометрии, линейной алгебры, вычислительной математики, теории винтов, теории дифференциальных уравнений, использования математических выкладок, основанных на фундаментальных законах механики и теории механизмов.

Тем не менее, по работе имеется **ряд замечаний**, которые сводятся к

следующему:

1. В работе не рассмотрены параметры вертикальных движений, которые требуется воспроизводить на стенде, основное внимание уделено вращательному движению платформы.
2. Насколько можно понять из текста диссертации, приводы платформы управляются регуляторами по отклонению, для работы которых необходимо знать их программное движение. В работе не приведены примеры таких программных движений.
3. В рассматриваемых кинематических схемах в некоторые сферические шарниры введены пальцы. Неясно, насколько такая модификация влияет на определитель матрицы плюнкеровых координат.
4. Есть замечания к стилистике автореферата и текста диссертации (с. 25,52). Можно указать на некорректный термин - «обобщенная координата углов» с. 53.

Данные замечания ни в коей мере не снижают общего, весьма положительного впечатления о работе и могут быть учтены автором в последующей научной и практической деятельности.

**В заключение** необходимо отметить, что представленная диссертационная работа Скворцова Сергея Александровича представляет собой законченную научную работу, в которой решена актуальная задача по исследованию свойств механизмов параллельной структуры с круговой направляющей, что позволит создавать на основе механизмов параллельной структуры с круговой направляющей тренажеры с расширенными функциональными возможностями.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. Полученные результаты, достаточно полно освящены автором в опубликованных работах, в том числе в патентах.

Диссертационная работа Скворцова Сергея Александровича является законченным научным трудом, ее содержание и оформление отвечают требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК при

Министерстве образования и науки Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и соответствует специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

Автор работы Скворцов Сергей Александрович заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

ФГБОУ ВО «Волгоградский  
государственный технический  
университет» (ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»),  
декан факультета электроники  
и вычислительной техники,  
доктор технических наук

Горобцов Александр Сергеевич

адрес: 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28

тел. +7 (844) 224-84-97

e-mail: [vm@vstu.ru](mailto:vm@vstu.ru)

(400087, г. Волгоград, ул. Ткачева, д. 13, кв. 128)



Подпись Горобцова А.С.  
УДОСТОВЕРЯЮ до марта 2017  
Нач. общего отдела Роза Александровна  
(подпись)